#1 New York Times Bestseller

NEIL DEGRASSE TYSON

ASTROFISIKA *untuk* ORANG SIBUK

Astrofisika untuk Orang Sibuk

Astrofisika untuk Orang Sibuk

NEIL deGRASSE TYSON

ASTROPHYSISC FOR PEOPLE IN A HURRY
by Neil deGrasse Tyson

ASTROFISIKA UNTUK ORANG SIBUK
oleh Neil deGrasse Tyson

Bab-bab diadaptasi dari esai-esai "Universe" di majalah *Natural History*—Bab 1: Maret 1998 dan September 2003; Bab 2: November 2000; Bab 3: Oktober 2003; Bab 4: Juni 1999; Bab 5: Juni 2006; Bab 6: Oktober 2002; Bab 7: Juli/Agustus 2002; Bab 8: Maret 1997; Bab 9: Desember 2003/Januari 2004; Bab 10: Oktober 2001; Bab 11: Februari 2006; Bab 12: April 2007.

GM 618220012

Alih bahasa: Zia Anshor
Adaptasi desain sampul: Isran Febrianto
Setting: Fajarianto

Diterbitkan pertama kali oleh
Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama
anggota IKAPI, Jakarta, 2018

www.gpu.id

ISBN: 978-602-06-1632-2
E-ISBN: 978-602-06-2448-8

Dicetak oleh Percetakan PT Gramedia, Jakarta
Isi di luar tanggung jawab Percetakan

KARYA LAIN NEIL deGRASSE TYSON

StarTalk: The Book
Welcome to the Universe: An Astrophysical Tour
(bersama Michael A. Strauss dan J. Richard Gott III)
Cosmos: A SpaceTime Odyssey
PEMBAWA ACARA, NARATOR, DAN EDITOR SAINS EKSEKUTIF:
SERI TV 13 EPISODE
The Inexplicable Universe
SERI KULIAH VIDEO 6 BAGIAN
Space Chronicles: Facing the Ultimate Frontier
The Pluto Files: The Rise and Fall of America's Favorite Planet
Death by Black Hole And Other Cosmic Quandaries
Origins: Fourteen Billion Years of Cosmic Evolution
(bersama Donald Goldsmith)
My Favorite Universe
SERI KULIAH VIDEO 12 BAGIAN
Cosmic Horizons: Astronomy at the Cutting Edge
(bersama Steven Soter, editor)
The Sky Is Not the Limit: Adventures of an Urban Astrophysicist
One Universe: At Home in the Cosmos
(bersama Charles Liu dan Robert Irion)
Just Visiting This Plane
Universe Down to Earth
Merlin's Tour of the Universe

Untuk semua yang terlalu sibuk sehingga tak sempat
membaca buku tebal
Namun tetap mencari saluran ke jagat raya

DAFTAR ISI

PRAKATA xi

1. Kisah Terakbar yang Pernah Disampaikan 1
2. Yang Berlaku di Bumi, Berlaku Juga di Langit 13
3. Jadilah Terang 23
4. Di Antara Galaksi 33
5. Zat Gelap 43
6. Energi Gelap 57
7. Jagat Raya di Tabel 73
8. Mengenai Bentuk Bulat 87
9. Cahaya Tak Tampak 97
10. Di Antara Planet-Planet 111
11. Eksoplanet Bumi 121
12. Perenungan atas Sudut Pandang Kosmik 133

UCAPAN TERIMA KASIH 145
TENTANG PENULIS 146

PRAKATA

Dalam beberapa tahun terakhir, jarang ada seminggu berlalu tanpa berita penemuan di jagat raya yang layak diberi judul besar. Para pengelola media barangkali memang benar-benar tertarik dengan alam semesta, tapi ramainya pemberitaan itu mungkin benar-benar datang dari peningkatan sejati kesukaan masyarakat terhadap sains. Buktinya banyak, mulai dari dikenalnya acara-acara televisi yang diilhami atau didasari sains, sampai keberhasilan film-film fiksi ilmiah yang dibintangi aktor terkenal, serta dibuat oleh produser dan sutradara tenar. Dan akhir-akhir ini, film biografi ilmuwan masyhur sudah menjadi genre tersendiri. Ada juga minat yang meluas di seluruh dunia terhadap festival sains, acara fiksi ilmiah, dan film dokumenter sains untuk televisi.

Film dengan pendapatan bruto tertinggi sepanjang masa adalah karya seorang sutradara yang menjadikan satu planet yang mengorbit bintang nan jauh sebagai latar ceritanya. Dan

film itu menampilkan aktris terkenal yang memerankan seorang ahli astrobiologi. Sementara sebagian besar cabang sains mengalami kenaikan pada zaman sekarang, bidang astrofisika selalu ada di atas. Saya pikir saya tahu mengapa. Sekali-sekali kita memandang langit malam dan bertanya: Apa artinya itu semua? Bagaimana cara kerjanya? Dan di manakah tempat saya di alam semesta?

Jika Anda terlalu sibuk untuk meresapi jagat raya melalui kelas, buku pelajaran, atau film dokumenter, tapi Anda tetap mencari pengantar singkat dan bermakna ke bidang tersebut, saya tawarkan *Astrofisika untuk Orang Sibuk*. Di buku tipis ini, Anda akan mendapat pemahaman dasar atas segala gagasan dan penemuan besar yang mendukung pemahaman modern kita atas alam semesta. Kalau saya berhasil, Anda akan fasih berbicara mengenai bidang keahlian saya, dan Anda mungkin akan ingin tahu lebih banyak.

Alam semesta tak berkewajiban
untuk bisa dimengerti oleh Anda.
—NDT

1.

Kisah Terakbar yang Pernah Disampaikan

Dunia sudah bertahan bertahun-tahun, sesudah awalnya digerakkan dengan sesuai. Dari sana segalanya berlanjut.

LUCRETIUS, KIRA-KIRA 50 SM

Awalnya, hampir empat belas miliar tahun lalu, segala ruang dan zat dan energi terkandung dalam sesuatu yang lebih kecil daripada satu per setriliun ukuran tanda titik yang mengakhiri kalimat ini.

Saking panasnya, gaya-gaya dasar alam yang bersama-sama menjelaskan alam semesta masih menyatu. Walau belum diketahui bagaimana terjadinya, jagat raya yang lebih kecil daripada titik itu mengembang. Cepat sekali. Kini kita menyebut kejadian itu "ledakan besar".

Teori relativitas umum Einstein, yang diajukan pada 1916, memberi kita pemahaman modern atas gravitasi: keberadaan

zat (*matter*) dan energi melengkungkan ruang dan waktu di sekelilingnya. Pada 1920-an, mekanika kuantum ditemukan, menyediakan penjelasan modern untuk segala yang kecil: molekul, atom, dan zarah (*particles*) subatomik. Namun kedua pemahaman atas alam itu secara formal tak saling cocok, sehingga para ahli fisika berlomba menyatukan teori tentang yang kecil dan teori tentang yang besar menjadi satu teori gravitasi kuantum yang koheren. Kita memang belum mencapai garis akhir, tapi kita sudah tahu di mana saja rintangan besarnya. Salah satunya adalah pada "era Planck" alam semesta awal. Era itu adalah waktu dari $t = 0$ sampai $t = 10^{-43}$ detik (satu per satu juta triliun triliun triliun detik) sesudah awal, dan sebelum alam semesta tumbuh mencapai ukuran 10^{-35} meter (satu per seratus juta triliun triliun meter). Ahli fisika Jerman Max Planck, yang namanya dipakai untuk jumlah-jumlah luar biasa kecil itu, mengajukan gagasan energi dalam kuantum pada 1900-an dan secara umum dianggap bapak mekanika kuantum.

Bentrok antara gravitasi dan mekanika kuantum tak menimbulkan masalah praktis bagi alam semesta zaman sekarang. Ahli astrofisika menerapkan prinsip dan alat relativitas umum dan mekanika kuantum ke kelompok masalah yang amat berbeda. Namun pada permulaan, selama era Planck, yang besar itu kecil, dan kita menduga mestinya ada perkawinan paksa antara keduanya. Sayangnya janji suci yang diucap selama upacaranya masih belum kita ketahui, dan dengan demikian belum ada hukum fisika (yang sudah diketahui) yang menjabarkan dengan memuaskan perilaku alam semesta pada masa itu.

Meski begitu, kita memperkirakan bahwa pada akhir era Planck, gravitasi lepas dari gaya-gaya alam lain yang masih ber-

satu mendapat identitas independen yang dijabarkan dengan baik oleh teori-teori kita sekarang. Selagi menua melebihi 10^{-35} detik, alam semesta terus mengembang, meratakan semua konsentrasi energi, dan gaya-gaya yang masih bersatu memecah menjadi gaya "elektrolemah" dan gaya "inti kuat". Sesudahnya, gaya elektrolemah memecah menjadi gaya elektromagnetik dan gaya "inti lemah", sehingga terdapatlah empat gaya dasar yang kita kenal: gaya lemah mengendalikan peluruhan radioaktif, gaya kuat mempersatukan inti atom, gaya elektromagnetik mengikat molekul, dan gravitasi menarik zat berjumlah besar.

*

Satu per setriliun detik sudah berlalu sejak permulaan.

*

Sementara itu, interaksi zat berwujud zarah-zarah subatomik dan energi berwujud foton (wadah energi cahaya tanpa massa yang berupa gelombang sekaligus zarah) terjadi tak henti-henti. Alam semesta cukup panas sehingga foton secara spontan mengubah energinya menjadi pasangan zarah zat-antizat, yang sesudahnya langsung saling meniadakan, mengembalikan energi ke foton. Ya, antizat (*antimatter*) itu nyata. Bukan hanya karya fiksi ilmiah; kita sudah menemukannya. Perubahan itu dijabarkan oleh persamaan paling terkenal dari Einstein: $E = mc^2$, yang merupakan resep dua arah untuk jumlah zat yang setara dengan energi, dan jumlah energi yang setara dengan zat. c^2 adalah kecepatan cahaya pangkat dua—angka besar yang ketika dikalikan massa menunjukkan kepada kita sebanyak apa energi yang didapat dari perubahan itu.

Segera sebelum, selama, dan sesudah gaya kuat dan elektrolemah berpisah, alam semesta merupakan sup mendidih berisi kuark, lepton, dan pasangan antizatnya, juga boson, zarah yang memungkinkan interaksi. Tak satu pun kelompok zarah itu dianggap bisa dibelah lagi menjadi sesuatu yang lebih kecil atau dasar, walau masing-masing punya beberapa variasi. Foton biasa adalah anggota kelompok boson. Lepton yang paling akrab bagi orang yang bukan ahli fisika adalah elektron dan mungkin neutrino; sedangkan kuark yang paling dikenal adalah ... sebenarnya tidak ada kuark yang terkenal. Keenam versinya diberi nama abstrak yang tak punya fungsi filologis, filosofis, atau pedagogis, selain untuk membedakan satu sama lain: *up* dan *down*, *strange* dan *charmed*, serta *top* dan *bottom*.

Omong-omong, boson dinamai berdasarkan nama ilmuwan India Satyendra Nath Bose. "Lepton" berasal dari kata Yunani *leptos*, berarti "kecil" atau "ringan". Sementara itu "kuark" punya asal-usul sastrawi dan jauh lebih imajinatif. Ahli fisika Murray Gell-Mann, yang pada 1964 menggagas keberadaan kuark sebagai penyusun neutron dan proton, dan waktu itu menganggap keluarga kuark hanya punya tiga anggota, mendapat nama itu dari satu baris yang sukar dimengerti di novel *Finnegans Wake* karya James Joyce: "Three quarks for Muster Mark!" Yang jelas, semua kuark bernama sederhana—itu sesuatu yang tampaknya sukar dilakukan ahli kimia, biologi, dan geologi ketika memberi istilah untuk barang-barang di bidangnya.

Kuark adalah sesuatu yang aneh. Tak seperti proton, yang bermuatan listrik +1, dan elektron, dengan muatan listrik -1,

kuark bermuatan pecahan tiga. Dan kita tak pernah menangkap kuark sendirian: kuark akan selalu menarik kuark lain di dekatnya. Malah, gaya yang mengikat dua kuark (atau lebih) menguat seiring makin kuat kita berusaha memisahkan mereka—seolah diikat semacam karet gelang subnuklir. Kalau dipisahkan cukup jauh, karet gelang itu putus dan energi yang tersimpan menggunakan $E = mc^2$ untuk menciptakan kuark baru di tiap ujung, membuat kita kembali ke keadaan awal.

Selama era lepton-kuark, alam semesta cukup rapat sehingga rata-rata pemisahan di antara kuark-kuark tak terikat melebihi pemisahan di antara kuark-kuark terikat. Dalam kondisi begitu, keterikatan di antara kuark-kuark berdekatan tak dapat dipastikan dengan tegas, meski semuanya saling terikat bersama-sama. Penemuan wujud zat demikian, semacam belanga kuark (*quark cauldron*), pertama kali dilaporkan pada 2002 oleh satu tim ahli fisika di Brookhaven National Laboratories, Long Island, New York.

Bukti teoretis kuat memberi kesan bahwa suatu episode pada awal alam semesta, barangkali selama salah satu pemisahan gaya, memberi asimetri kepada alam semesta, ketika zarah zat sedikit melebihi zarah antizat: satu miliar satu dibanding satu miliar. Perbedaan kecil jumlah itu tak bakal diperhatikan siapa pun di tengah penciptaan, pemusnahan, dan penciptaan kembali terus-menerus kuark dan antikuark, elektron dan antielektron (lebih dikenal sebagai positron), serta neutrino dan antineutrino. Kuark tidak biasa punya banyak kesempatan menemukan pasangan untuk saling memusnahkan, begitu pula semua yang lain.

Namun itu tak berlangsung lama. Selagi jagat raya terus mengembang dan mendingin, tumbuh membesar melebihi ukuran tata surya kita, suhu menurun dengan cepat di bawah satu triliun derajat Kelvin.

*

Satu per sejuta detik telah berlalu sejak permulaan.

*

Alam semesta suam-suam kuku tak lagi cukup panas atau rapat untuk memasak kuark, sehingga semuanya mendapatkan pasangan menari, menciptakan keluarga zarah berat baru permanen bernama hadron (dari kata Yunani *hadros*, berarti "tebal"). Transisi kuark ke hadron segera menyebabkan kemunculan proton dan neutron, juga zarah lain yang kurang dikenal, semuanya terdiri atas berbagai kombinasi spesies kuark. Di Swiss (di Bumi) kolaborasi fisika zarah Eropa[1] menggunakan akselerator besar untuk menabrakkan pancaran hadron guna menciptakan kembali kondisi tersebut. Mesin terbesar di dunia itu dinamakan Large Hadron Collider.

Asimetri kecil antara zat dan antizat yang memengaruhi sup kuark–lepton kemudian beralih ke hadron, dengan konsekuensi luar biasa.

Selagi alam semesta terus mendingin, jumlah energi yang tersedia untuk penciptaan spontan zarah dasar menurun. Selama era hadron, foton-foton tak lagi bisa menggunakan $E = mc^2$

[1] Pusat Riset Nuklir Eropa (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), lebih terkenal dengan singkatannya, CERN.

untuk membuat pasangan kuark–antikuark. Bukan hanya itu; foton-foton yang muncul dari semua pemusnahan yang masih tersisa kehilangan energi ke alam semesta yang mengembang terus, sampai di bawah batas yang diperlukan untuk menciptakan pasangan hadron–antihadron. Untuk setiap satu miliar pemusnahan—meninggalkan satu miliar foton—tersisa satu hadron. Hadron-hadron sendirian itu akhirnya menjadi sumber zat yang menciptakan galaksi, bintang, planet, dan bunga.

Tanpa ketidakseimbangan semiliar satu lawan semiliar antara zat dan antizat, semua massa di alam semesta akan musnah, menyisakan jagat raya yang terdiri atas foton *tanpa yang lain*—skenario “jadilah terang” paripurna.

*

Waktu satu detik pun berlalu.

*

Alam semesta telah tumbuh menjadi selebar beberapa tahun cahaya[2], kira-kira sama dengan jarak dari Matahari ke bintang-bintang tetangga terdekatnya. Dengan suhu satu miliar derajat, alam semesta masih sangat panas—dan masih bisa memasak elektron, yang terus muncul dan lenyap bersama-sama positron pasangannya. Namun di alam semesta yang terus mengembang dan mendingin, elektron hanya menghitung hari (sebenarnya detik). Yang berlaku bagi kuark dan hadron berlaku juga bagi

[2] Satu tahun cahaya adalah jarak yang ditempuh cahaya dalam satu tahun Bumi—hampir sepuluh triliun kilometer.

elektron: akhirnya hanya satu elektron di antara semiliar yang bertahan. Sisanya saling memusnahkan dengan positron, pasangan antizatnya, dalam lautan foton.

Sekitar waktu itu, satu elektron untuk setiap satu proton telah “dibekukan” keberadaannya. Selagi jagat raya terus mendingin—sampai di bawah seratus juta derajat—proton berfusi dengan proton lain dan neutron, membentuk inti-inti atom dan menetaskan alam semesta, dengan sembilan puluh persen inti atom adalah hidrogen dan sepuluh persen adalah helium, serta segelintir deuterium (hidrogen “berat”), tritium (hidrogen yang lebih berat lagi), dan lithium.

*

Dua menit telah berlalu sejak permulaan.

*

Selama 380.000 tahun berikutnya tak banyak yang terjadi di sup zarah kita. Dalam waktu ribuan tahun itu, suhu tetap cukup panas sehingga elektron bisa berkeliaran bebas di antara foton, saling tabrak selagi berinteraksi.

Kebebasan itu berakhir mendadak ketika suhu alam semesta jatuh di bawah 3.000 derajat Kelvin (sekitar separuh suhu permukaan Matahari), dan semua elektron bebas bergabung dengan inti atom. Perkawinan itu menimbulkan lautan cahaya tampak, selamanya meninggalkan bekas catatan di mana segala zat berada pada saat itu, serta melengkapi pembentukan zarah dan atom di alam semesta purba.

*

Selama satu miliar tahun pertama, alam semesta terus mengembang dan mendingin selagi zat ditarik gravitasi menjadi konsentrasi masif yang kita sebut galaksi. Hampir seratus miliar galaksi terbentuk, masing-masing berisi ratusan miliar bintang yang menjalankan fusi termonuklir di intinya. Bintang-bintang dengan massa sekitar sepuluh kali massa Matahari mencapai tekanan dan suhu cukup tinggi di inti untuk membuat lusinan unsur yang lebih berat daripada hidrogen, termasuk yang menyusun planet-planet berikut bentuk kehidupan apa pun yang bisa bertumbuh kembang di atasnya.

Unsur-unsur itu akan tak berguna andaikata tetap berada di tempatnya terbentuk. Namun bintang-bintang bermassa besar kadang meledak, memencarkan isinya yang kaya secara kimia ke seantero galaksi. Setelah sembilan miliar tahun pengayaan, di satu bagian alam semesta yang tak unik (pinggiran Mahagugus Virgo) di satu galaksi tak unik (Bimasakti) di daerah tak unik (Lengan Orion), lahirlah satu bintang biasa (Matahari).

Awan gas yang membentuk Matahari berisi cukup banyak unsur berat untuk mengalami koalesensi (menghimpun) dan menghasilkan berbagai objek pengorbit yang mencakup beberapa planet batuan dan gas, ratusan ribu asteroid, dan miliaran komet. Selama beberapa ratus juta tahun pertama, banyak puing di berbagai orbit mengalami akresi (menyatu karena tarikan gravitasi) menjadi objek-objek lebih besar. Kejadiannya berupa tabrakan-tabrakan dengan kecepatan dan energi tinggi, yang melelehkan permukaan planet-planet batuan, menghalangi pembentukan molekul kompleks.

Selagi zat yang bisa berakresi di tata surya menjadi makin sedikit, permukaan planet mulai mendingin. Planet yang kita